饲粮不同粗蛋白质水平对育肥羔羊小肠氨基酸流量及吸收率的影响[1]

牛 露 尹 华 郑 猛 甘麦邻 陈傲东 刘晨黎 陈道富 高 巍*

（石河子大学动物科技学院，石河子 832002）

摘 要：本研究旨在比较饲粮不同粗蛋白质（CP）水平对育肥羔羊小肠氨基酸(AA)流量及吸收率的影响。选用体重(30.0±3.7) kg，安装有瘤胃、十二指肠近端和回肠末端瘘管的3只哈萨克羊公羔为试验动物，采用3×3拉丁方试验设计，各处理饲粮CP水平分别为11.00%、12.00%和13.00%；预试期10 d，正试期10 d。采用醋酸镱（Yb-Ac）、锂铬乙二胺四乙酸（LiCr-EDTA）分别作为消化道固相和液相食糜标记物测定小肠食糜流量。结果表明：提高饲粮CP水平可增加羔羊氮进食量、表观消化率和氮沉积，13.00%CP处理显著高于11.00%CP处理($P<0.05$)，并有增加饲粮干物质（DM）、有机物（OM）和中性洗涤纤维（NDF）表观消化率的趋势($0.05 \le P<0.10$)，但不影响酸性洗涤纤维（ADF）的表观消化率（$P>0.05$）。提高饲粮CP水平虽然对小肠真食糜流量及氨基酸吸收率无显著性影响（$P>0.05$），但十二指肠氮、总氨基酸（TAA）流量以及必需氨基酸（EAA）中精氨酸（Arg）、组氨酸（His）和赖氨酸（Lys）的吸收率在数值上有所增加。结果显示，提高饲粮CP水平有提高消化率、小肠食糜流量及氨基酸吸收率的潜在趋势。

关键词：瘤胃降解蛋白质；氨基酸；流量；吸收率；哈萨克羊

中图分类号：S826

农作物秸秆和棉籽壳等农副产物是新疆农区肉牛肉羊养殖中应用最普遍的粗饲料种类。由于品质差，粗蛋白质（CP）含量极低，为达到一定的生产性能，对精饲料特别是蛋白质补充料的依赖性很大。许多研究表明，如果精饲料中非纤维碳水化合物（NFC）含量过多，虽然可提高牛[1-2]或羊[3]的有机物（OM）的采食量，但粗饲料的采食量和纤维的消化率往往被抑制。如能补饲适宜水平的瘤胃降解蛋白质（RDP）将会促进瘤胃微生物生长与活性，提高粗饲料的采食量和消化率[4]。此外，体外研究表明，氨基酸（AA）[5]或小肽[6]也能刺激瘤胃微生物的生长与活性。虽然大部分游离 AA 被瘤胃微生物发酵生成氨和挥发性脂肪酸，精饲料中添加水溶性真蛋白质饲料可显著提高小肠 AA 和小肽的流量[7]。据此分析，在以农副产物为粗饲料的饲养条件下，要达到预期的生产性能，不仅饲粮 CP 要满足需要量，而且要

收稿日期：2015-11-10

基金项目：国家自然科学基金项目（31260557）;兵团博士资金专项（2013BB018）

作者简介：牛 露（1993-），女，甘肃白银人，本科生，动物科学专业。E-mail: 2587191120@qq.com

*通信作者：高 巍，副教授，硕士生导师，E-mail :gw@shzu.edu.cn

求 CP 中 RDP 与瘤胃非降解蛋白质（RUP）的比例(RDP：RUP)要适宜，才能确保瘤胃微生物的生长与活性，促进采食与消化，增加小肠养分的供应量，提高养分的利用效率。但目前人们对该饲养条件下饲粮中适宜 RDP：RUP 知之甚少。

为此，本研究以安装有瘤胃、十二指肠近端和回肠末端瘘管的哈萨克羊公羔为试验动物，采用双标记物法测定消化道食糜流量技术，比较研究了育肥羔羊在以小麦秸和棉籽壳为粗饲料的饲粮中不同 CP 水平对小肠 AA 流量及吸收率的影响，为今后进一步研究小肠限制性 AA 顺序以及建立小肠理想 AA 模式提供试验依据和研究基础。

1 材料与方法

1.1 试验动物与饲粮

选取体重(30.0±3.7) kg 的哈萨克羊公羔 3 只作为试验动物，手术安装永久性瘤胃瘘管、十二指肠近端瘘管和回肠末端瘘管，代谢笼内单笼饲养。按 NRC（2003）推荐采食量和营养需要量配制试验饲粮，全混合日粮(TMR)1、2、3 CP 水平分别为 11.00%、12.00%和 13.00%，其余营养水平基本一致。每天等量饲喂 2 次，自由饮水。每天自由采食量约为 1 200~1 300 g。试验饲粮组成及营养水平见表 1。

表 1 试验饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1 Composition and nutrient levels of experimental diets (air-dry basis) %

项目 Items	全混合日粮1 TMR1	全混合日粮 2 TMR2	全混合日粮 3 TMR3
原料 Ingredients			
小麦秸 Wheat straw	28.02	27.90	27.85
棉籽壳 Cotton seed hulls	14.01	13.95	13.34
苜蓿草粉 Alfalfa meal	14.01	13.95	13.93
玉米粉 Corn flour	25.77	17.08	8.83
精饲料 Concentrate1)	18.19	27.12	36.05
合计 Total	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels			
消化能 DE/(MJ/kg)	11.72	11.72	11.72
粗蛋白质 CP	11.00	12.00	13.00
钙 Ca	0.41	0.48	0.55
总磷 TP	0.29	0.32	0.34

每千克精饲料含有 One kg of concentrate contained the following:玉米 corn 649 g，小麦麸 wheat bran 39 g，大豆粕 soybean meal 64 g，棉籽粕 cottonseed meal 200 g，磷酸氢钙 $CaHPO_4$ 2 g，石粉 limestone 18 g，食盐 NaCl 8 g，小苏打 $NaHCO_3$ 5 g，预混料 premix 15 g。预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of diets：Zn 50 mg，Fe 80 mg，Mn 40 mg，Cu 19 mg，Co 0.25 mg，I 0.8 mg，Se 0.30 mg，

VA 10 000 IU，VD3 300 IU，VE 200 IU。

1.1.1 试验处理

采用 3×3 拉丁方试验设计。各处理分别饲喂 3 种不同 CP 水平的饲粮；每期预试期 10 d，使羊只适应试验饲粮，正试期 10 d。每天准确记录试验羊的采食量。

1.2 食糜标记物溶液的配制与灌注

按 Udén 等[8]的方法制备锂铬乙二胺四乙酸（LiCr-EDTA）结晶盐，溶解于蒸馏水中，实测溶液中铬（Cr）元素的浓度为 3 780.22 mg/L。分 4 次由瘤胃瘘管灌注，每次 15 mL，连续灌注 8 d。配制好的醋酸镱（Yb-Ac）水溶液中实测镱（Yb）元素的浓度为 560.10 mg/L，灌注方法同前，灌注时间比 Cr 延后 15 min 左右，避免相互干扰。每日灌注时间点 08:00、14:00、20:00、02:00。连续灌注 4~5 d 后可达到平衡状态[9]。从灌注的第 5 天开始采集瘤胃、十二指肠和回肠食糜样品。

1.3 样品采集方案

正试期的第 5 天开始采集小肠食糜。每天采样 4 次，连续采集 3 d。第 5 天的采样时间点 08:00、14:00、20:00、02:00；第 6 天的采样时间点 06:00、12:00、18:00、24:00；第 7 天的采样时间点 04:00、10:00、16:00、22:00。每隔 6 h 采集瘤胃食糜 50 mL，十二指肠食糜 30 mL，回肠食糜 15 mL。将 3 d 内不同时间点采集到的十二指肠和回肠食糜样本等份量混合制成混合样本。放置于磁力搅拌器（WH220，Wiggens,德国）上搅拌约 3 min，待食糜充分混匀后，边搅拌边用自制的前端挖孔的塑料注射器进行取样。一份食糜样品放入已称重的小烧杯中称重，记录食糜湿重，60 ℃烘干后细粉碎，用于测定食糜中 2 种元素及 AA 的含量；另取一份食糜样品放入离心管中，5 000 r/min 离心 10 min，取上清液或沉淀置于三角瓶称重，用于测定 2 种元素及 AA 的含量；其余样品 60 ℃烘干后细粉碎，用于测定食糜干物质（DM）及氮含量。第 8~10 天进行全收粪和全收尿的消化代谢试验。每天取 10%有代表性的粪样和尿样，于-20 ℃冰柜中冷冻保存。

1.4 测定分析

DM、CP、OM的分析按张丽英[10]的方法进行。中性洗涤纤维（NDF）和酸性洗涤纤维（ADF）的含量按Van Soest等[11]的方案进行，不添加亚硫酸钠，按每克样品添加20 μL热稳定性α-淀粉酶(A3306,Sigma，美国)于中性洗涤液中。小肠食糜的AA含量采用AA分析仪(S433D，Sykam，德国)按国标方法（GB/T 18246）进行分析。分别进行酸水解[用于测定除蛋氨酸（Met）、半胱氨酸（Cys）和色氨酸（Trp）以外的其他AA]和过甲酸氧化水解[用于

测定Met和Cys]。样品中Cr、Yb元素的浓度按电感耦合等离子体原子发射光谱法通则（JY/T 015-1996）用VISTA-MPX电感耦合等离子体原子发射光谱仪（Varin,美国）进行测定分析。

1.5　食糜流量及 AA 吸收率计算

与单胃动物相比，采用体内法测定小肠食糜流量时，由于反刍动物消化生理的特殊性，小肠食糜特别是十二指肠食糜通常呈现为非均质状态，表现出明显的大或中食糜颗粒（固相）和液态食糜（含细小食糜颗粒，液相）的双相或多相特征。当利用安装有“T”型小肠瘘管的反刍动物通过点采样来测定食糜流量时，如采用单标记物[如三氧化二铬（Cr_2O_3）]作为食糜标记物，测得的食糜流量不准确。这主要是由于点采样难以采集到有代表性的食糜样品以及Cr_2O_3不能在固相和液相食糜中均匀分布造成的。为此，本试验采用 Yb-Ac 和 Cr-LiEDTA 分别作为食糜固相和液相标记物，由瘤胃瘘管连续灌注，对育肥羔羊在每日等量饲喂 2 次的饲养条件下小肠食糜流量及 AA 吸收率进行了测定，并对 3 种不同 CP 水平饲粮对小肠 AA 的流量及吸收率的影响进行了比较分析。

食糜流量计算按 Faichney[12]建立的非代表性食糜样品重组法进行。连续灌注标记物，使标记物在小肠内的流量达到稳衡状态，从瘘管中采集食糜样品，离心分离固液相。计算公式如下：

$$R_T=(C_{Yb,X}/I_{Yb}-C_{Cr,X}/I_{Cr})/C_{Cr,T}/I_{Cr}-C_{Yb,T}/I_{Yb};$$

$$C_{Cr,D}=(C_{Cr,X}+R_TC_{Cr,T})/(1+R_T);$$

$$C_{Yb,D}=(C_{Yb,X}+R_TC_{Yb,T})/(1+R_T);$$

$$F_D=I_{Cr}/C_{Cr,D}=I_{Yb}/C_{Yb,D};$$

$$C_{AA,D}=(C_{AA,X}+R_TC_{AA,T})/(1+R_T);$$

$$F_{AA}=C_{AA,D}\times F_D;$$

A_{AA}=100×（十二指肠 AA 流量-回肠 AA 流量）/十二指肠 AA 流量。

式中：R_T为重组因子；I_{Cr}和I_{Yb}分别为标记物 Cr 和 Yb 的灌注速率为（mg/d）；$C_{Cr,D}$和$C_{Yb,D}$分别为真食糜（D）中 Cr 和 Yb 的浓度（mg/g）；$C_{Cr,X}$和$C_{Yb,X}$分别为非代表性食糜样品（X）中 Cr 和 Yb 的浓度（mg/g）；$C_{Cr,T}$和$C_{Yb,T}$分别为食糜上清液(T)中 Cr 和 Yb 的浓度（mg/g）；F_D为真食糜流量（鲜重）（g/d）；$C_{AA,D}$、$C_{AA,X}$、$C_{AA,T}$分别为真食糜、非代表食糜和食糜上清液中 AA 的含量（mg/g，鲜重基础）；F_{AA}为总氨基酸（TAA）（g/d）；A_{AA}为 AA 吸收率（%）。

1.6　统计分析

采用GLM模块按如下模型对饲粮处理、动物效应对小肠AA流量及吸收率测定结果的效

应进行统计检验：

$$Y_{ijk}=\mu+T_i+A_j+TA_{ij}+e_{ijk}$$[13]。

式中：Y_{ijk}为小肠食糜AA的流量或吸收率；μ为总体平均值；T_i为饲粮处理效应；A_j为动物效应；TA_{ij}为饲粮与动物间的互作效应；e_{ijk}为残差，且假设符合正态及独立分布。运用TSR对各处理平均值的显著性差异进行多重比较，P<0.05为差异显著，0.05≤P<0.10可看作趋势。

2 结果与分析

2.1 饲粮不同CP水平对进食量、表观消化率及氮平衡的影响

由表2可知，饲粮CP水平的提高可增加羔羊对氮表观消化率和氮沉积，TMR3显著高于TMR1(P<0.05)，并有提高饲粮DM、OM和NDF表观消化率的趋势(0.05≤P<0.10)，但对ADF表观消化率无影响（P>0.05）。

表 2 饲粮不同 CP 水平对羔羊进食量、表观消化率及氮平衡的影响

Table 2 Effects of different dietary CP levels on intake, apparent digestibility and N balance of lambs

项目 Items	全混合日粮 1 TMR1	全混合日粮 2 TMR2	全混合日粮 3 TMR3	SEM	P 值 P-value
干物质进食量 DMI/g	1 009.4±43.0	1 032.4±68.9	1 038.7±42.8	60.70	0.837 8
氮进食量 N intake/g	19.3±5.0^{b}	20.8±5.7^{b}	23.5±4.4^{a}	0.66	0.031 6
表观消化率 Apparent digestibility/%					
干物质 DM	48.7±22.5	65.4±1.8	70.2±6.6	9.49	0.071 3
有机物 OM	49.3±22.8	65.9±1.7	67.0±6.4	4.36	0.060 4
氮 N	55.7±10.0^{b}	63.1±3.4^{ab}	72.3±7.1^{a}	3.05	0.042 9
中性洗涤纤维 NDF	47.2±13.5	49.1±4.2	52.5±8.9	1.23	0.065 0
酸性洗涤纤维 ADF	49.2±11.5	50.7±5.6	55.4±8.9	4.20	0.361 7
氮沉积 N deposition/(g/d)	53.1±18.3^{b}	58.3±6.1^{b}	66.9±1.6^{a}	2.21	0.032 6

同行数据肩标字母相异表示差异显著（P <0.05），字母相同表示差异不显著（P>0.05）。下表同。

Values in the same row with different letter superscripts mean significant difference （P<0.05）, while the same letter superscripts mean no significant difference （P>0.05）. The same as below.

2.2 饲粮不同CP水平对小肠真食糜流量的影响

由表3可知，饲粮CP水平的提高对十二指肠和回肠真食糜流量（鲜重）无显著影响（P>0.05），3个处理的平均值分别为9 479和1 711 g/d。十二指肠和回肠DM流量平均值分别为723和181 g/d。TMR1和TMR3十二指肠氮流量均大于氮进食量，而TMR3十二指肠食糜TAA流量在数值上大于其他2种饲粮，差异不显著（P>0.05）。

表 3 饲粮不同CP水平对羔羊小肠食糜DM、氮及TAA流量的影响

Table 3 Effects of different dietary CP levels on small intestinal chyme DM, N and TAA flows of lambs g/d

项目 Items	全混合日粮 1 TMR1	全混合日粮 2 TMR2	全混合日粮 3 TMR3	SEM	*P* 值 *P*-value
十二指肠真食糜流量(鲜重) Duodenal true digesta flows (fresh weight)	9 093	7 698	11 646	2 757	0.387 4
回肠真食糜流量（鲜重） Ileal true digesta flows (fresh weight)	1 427	2 107	1 599	864.8	0.666 5
十二指肠干物质流量 Duodenal DM flows	789	630	750	145.7	0.507 2
回肠干物质流量 Ileal DM flows	154	231	158	119.9	0.718 2
十二指肠氮流量 Duodenal N flows	22.5	19.4	25.4	8.12	0.681 8
回肠氮流量 Ileal N flows	2.62	3.75	2.98	1.638	0.728 6
十二指肠 TAA 流量 Duodenal TAA flows	57.9	47.1	63.2	14.67	0.518 5
回肠 TAA 流量 Ileal TAA flows	9.5	12.8	10.5	5.40	0.766 4
十二指肠真食糜流通常数 Constant of duodenal true digesta flows	14.04	12.08	20.24	4.32	0.224 0
回肠真食糜流通常数 Constant of ileal true digesta flows	2.52	4.35	2.84	2.05	0.655 0

2.3 饲粮不同CP水平对小肠AA流量的影响

由表4可知，随饲粮中CP水平的升高，虽然十二指肠AA流量在各处理间无显著性差异（*P*>0.05），但必需氨基酸（EAA）中精氨酸（Arg）、异亮氨酸（Ile）、组氨酸（His）、缬氨酸（Val）、苏氨酸（Thr）、亮氨酸（Leu）与赖氨酸（Lys）的流量增加幅度明显。

表4 饲粮不同CP水平对羔羊十二指肠氨基酸流量

Table 4 Effects of different dietary CP levels on duodenal flows of AA of lambs g/d

项目 Items	全混合日粮 1 TMR1	全混合日粮 2 TMR2	全混合日粮 3 TMR3	SEM	*P* 值 *P*-value
精氨酸 Arg	2.20	1.70	2.60	0.685	0.455 2
组氨酸 His	3.60	2.64	4.03	1.036	0.413 4
异亮氨酸 Ile	2.20	1.70	2.60	0.685	0.455 2
亮氨酸 Leu	5.50	4.70	5.90	1.310	0.587 0
赖氨酸 Lys	3.80	2.90	4.05	1.007	0.491 6
蛋氨酸 Met	0.69	0.60	0.82	0.259	0.653 4
苯丙氨酸 Phe	2.70	2.04	2.98	0.756	0.448 5
缬氨酸 Val	3.40	2.80	3.70	0.808	0.482 5
苏氨酸 Thr	3.90	3.20	4.30	0.830	0.430 1
丙氨酸 Ala	4.00	3.30	4.50	0.958	0.459 5
天冬氨酸 Asp	5.70	4.50	6.30	1.498	0.463 6
胱氨酸 Cys	0.31	0.20	0.21	0.081	0.354 0
谷氨酸 Glu	8.40	6.70	9.40	2.307	0.501 0
甘氨酸 Gly	3.00	2.40	3.40	0.703	0.389 9
脯氨酸 Pro	2.80	2.20	3.30	0.724	0.346 6
丝氨酸 Ser	2.30	1.70	2.70	0.748	0.423 3
酪氨酸 Tyr	2.00	1.70	2.30	0.548	0.501 5

由表5可知，单个AA的回肠流量在3个处理间的差异不显著（P>0.05），除个别AA（Arg和His）的流量TMR2较低外，其他AA的回肠流量TMR2在数值上均高于其他2个处理。

表5　饲粮不同CP水平对羔羊回肠AA流量的影响

Table 5　Effects of different dietary CP levels on ileal flows of AA of lambs　　g/d

项目 Items	全混合日粮 1 TMR1	全混合日粮 2 TMR2	全混合日粮 3 TMR3	SEM	*P* 值 *P*-value
精氨酸 Arg	0.25	0.24	0.32	0.059	0.389 2
组氨酸 His	0.44	0.41	0.36	0.175	0.868 6
异亮氨酸 Ile	0.50	0.70	0.59	0.306	0.755 2
亮氨酸 Leu	0.77	1.04	0.87	0.431	0.760 6
赖氨酸 Lys	0.52	0.71	0.59	0.301	0.763 9
蛋氨酸 Met	0.08	0.09	0.08	0.050	0.934 7
苯丙氨酸 Phe	0.45	0.59	0.51	0.237	0.776 0
缬氨酸 Val	0.68	0.96	0.76	0.417	0.736 3
苏氨酸 Thr	0.49	0.60	0.52	0.245	0.868 4
丙氨酸 Ala	0.69	0.83	0.74	0.320	0.860 3
天冬氨酸 Asp	0.90	1.23	1.06	0.525	0.767 6
胱氨酸 Cys	0.07	0.08	0.05	0.012	0.235 3
谷氨酸 Glu	0.12	0.17	0.08	0.082	0.444 5
甘氨酸 Gly	0.50	0.64	0.56	0.252	0.818 3
脯氨酸 Pro	0.68	1.04	0.72	0.480	0.665 8
丝氨酸 Ser	0.41	0.49	0.42	0.210	0.885 5
酪氨酸 Tyr	0.25	0.33	0.29	0.145	0.813 7

2.4　饲粮不同CP水平对小肠AA吸收率的影响

由表6可知，饲粮CP水平对小肠AA吸收率无显著影响（P>0.05）。总体上，TMR2的AA吸收率偏低，而TMR3的AA吸收率普遍较高，而且TAA的吸收率也是最高的。

表6　饲粮不同CP水平对羔羊小肠AA吸收率的影响

Table 6　Effects of different dietary CP levels on small intestinal absorption rate of AA of lambs　　%

项目 Items	全混合日粮 1 TMR1	全混合日粮 2 TMR2	全混合日粮 3 TMR3	SEM	*P* 值 *P*-value
精氨酸 Arg	86.8	85.9	87.1	4.603	0.954 1
组氨酸 His	82.5	83.7	90.9	8.711	0.552 1
异亮氨酸 Ile	74.8	58.4	77.2	10.732	0.266 7
亮氨酸 Leu	84.9	76.4	85.4	8.402	0.478 0
赖氨酸 Lys	84.4	74.5	85.5	8.652	0.403 7
蛋氨酸 Met	87.9	84.3	90.5	5.248	0.486 6
苯丙氨酸 Phe	81.7	70.5	82.8	7.316	0.278 3
缬氨酸 Val	78.1	64.2	80.2	12.673	0.414 2
苏氨酸 Thr	85.0	79.8	88.0	7.586	0.524 8
丙氨酸 Ala	80.7	74.5	83.9	8.396	0.505 2

天冬氨酸 Asp	82.6	71.5	83.4	9.211	0.389 5
胱氨酸 Cys	67.8	58.8	72.5	8.651	0.339 7
谷氨酸 Glu	98.5	97.2	99.1	1.130	0.302 0
甘氨酸 Gly	80.9	72.2	83.6	9.075	0.436 1
脯氨酸 Pro	72.5	51.6	79.0	17.752	0.338 2
丝氨酸 Ser	79.2	70.5	84.1	7.980	0.309 4
酪氨酸 Tyr	86.2	79.3	87.1	6.761	0.455 9
总氨基酸 TAA	81.7	71.7	83.6	9.883	0.442 7

3 讨 论

3.1 饲粮不同CP水平对采食量、表观消化率及氮平衡的影响

干物质进食量（DMI）决定着维持羔羊健康和生产所需养分的数量，受饲粮水分和NDF含量及其精粗比的影响。饲粮的CP水平的高低决定可利用能量的高低，而可利用能量的高低直接影响小肠AA的吸收。但是饲粮的不同CP水平对采食量、表观消化率及氮平衡的是否有影响，不同学者的研究结果不同。Hentz等[14]采用与本研究近似体重的试验羊，代谢笼内进行的消化代谢试验结果表明，在自由采食苏丹草的条件下，补饲不同水平的坎诺拉菜籽粕，氮进食量不影响DM、OM、NDF或ADF的表观消化率，但是，氮进食量、氮表观消化率、粪氮和尿氮排出量以及氮沉积等均随补饲水平的增加而线性升高。马涛等[15]采用杜×寒杂交绵羊公羊作为试验羊，饲喂12种不同精粗比的全混合颗粒饲料，尿氮排出量和氮沉积均随饲粮精饲料比例的升高而显著升高。梁贤威等[16]则报道，随饲粮精饲料比例升高，尿氮和粪氮排出量均下降。本试验的结果表明，提高饲粮CP水平可显著增加羔羊对氮的表观消化率和氮沉积，这与以上结果一致。原因可能是随着饲粮中精饲料比例的增加，瘤胃食糜外流速度增加。一般认为，纤维的消化率与饲粮酸性洗涤木质素（ADL）含量及瘤胃食糜外流速度负相关。本试验虽未分析饲粮中ADL的含量，但3种饲粮的NDF含量比较接近，而ADF的含量略有差异。

3.2 饲粮不同CP水平对小肠真食糜流量的影响

张乃峰等[9]应用Cr_2O_3和聚乙二醇4 000（PEG-4 000）分别作为固相和液相食糜标记物，试验羊的体重（35 kg）和DMI（1 100 g）与本试验接近，测定的十二指肠、回肠真食糜流量平均值分别为10.1和5.6 L/d。十二指肠真食糜流量与本试验非常接近，但回肠真食糜流量相差较大。造成此差异的原因不清，是否与饲喂频率有关还有待进一步试验证实。该试验采用的饲喂方式是自动饲喂器连续饲喂，每隔1 h饲喂1次，而本试验是采用每日等量饲喂2次的方式。

Hentz等[14]试验发现，随着菜籽粕补饲量的加大，十二指肠食糜OM、氮、α-氨基-氮

（α-amino-N）、氨态氮以及非氨非微生物氮(NANMN)的流量均线性增加，但微生物氮流量、瘤胃OM真消化率以及微生物蛋白质（MCP）合成效率均不受影响。RDP转化为微生物氮的利用效率线性降低。说明虽然瘤胃内可利用氮的量增多了，但精饲料比例增加又加快了瘤胃食糜外流速度，造成食糜中来自于RUP的α-氨基-氮的比例相应增加了。上述分析或许可以解释本研究中十二指肠TAA流量数值上增加的结果。

Oosting等[17]试验采用4只体重为60 kg的安装有瘤胃、十二指肠和回肠瘘管的美利奴羊作为试验动物，分别饲喂不同水平二氧化硫处理小麦秸和大麦的混合饲粮，按4×4拉丁方试验设计进行消化代谢试验，氮进食量（18.0 g/d）与本研究的TMR1(19.0 g/d)非常接近。结果表明，饲喂100%小麦秸饲粮条件下绵羊瘤胃氮的转化效率最高，十二指肠氮流量随饲粮中小麦秸比例的减少而降低(22.4 g/d vs. 18.0 g/d)，但不影响小肠氮的吸收量，各处理羊的小肠氮吸收量介于13.6~14.6 g/d之间。此结果与本试验结果不一致。本试验测定的3种饲粮的十二指肠氮流量虽然与该结果非常接近，随精饲料比例的增高，十二指肠氮流量也相应增大（19.4~25.4 g/d），TAA的流量也呈现一致升高的趋势。小肠氮的吸收量（19.88~22.42 g/d）明显高于该试验的报道值。进一步分析该试验饲粮可以看出，虽然各处理饲粮的氮含量为2%，但小麦秸的氮含量是通过添加NPN来达到2%，与大麦的氮含量持平。而大麦的CP中RDP约占80%，由此推测，饲粮中RDP和NFC的供给量可能偏高，随着大麦比例（30%、70%和100%）的增加，瘤胃液氨态氮的含量逐步升高，微生物发酵可能会因为瘤胃液pH降低而受到抑制，导致十二指肠非氨态氮的流量线性降低。本试验未进行瘤胃至十二指肠食糜中各种氮组分（氨态氮、微生物氮、非氨态氮非微生物氮）的流量的测定，下一步试验再深入分析增加饲粮CP水平对微生物氮的合成效率的影响。

3.3　饲粮不同CP水平对小肠AA流量的影响

梁贤威等[16]研究表明，不同碳源（玉米vs.大麦）和氮源（豆粕vs.鱼粉）组合处理对小肠AA的吸收量的影响也无显著性差异，但若将吸收量表示为进入十二指肠AA流量的百分比时，大麦-鱼粉组合饲粮组的AA吸收率显著高于其他组合处理。据Hussein等[18]报道，碱化处理小麦秸基础饲粮中补充不同混合比例的玉米蛋白粉和血粉蛋白质补充料（饲粮CP 12.9%DM），对绵羊小肠TAA流量无显著性影响，但随血粉替代玉米蛋白粉比例的增大，Val、His、Lys和Arg的流量显著增加，而Ile、Leu和Met的流量显著降低，Thr和苯丙氨酸(Phe)的流量不变。在只补充豆粕的情况下，十二指肠食糜中微生物氮的流量增加，而饲料及内源AA流量降低。上述结果提示，改变饲粮中RDP的水平，即使不影响十二指肠TAA的流量，但可改变AA的比例。十二指肠食糜中His和Lys流量增加，对于促进羔羊的生长育肥来说非常重

要。因为瘤胃MCP中的Lys、Met和His相对于生长的需要量是限制性作用最大的AA。

本试验测定的十二指肠EAA（Trp除外）流量的平均值（27.08 g/d），与王洪荣等[19]报道值（31.13 g/d）非常接近。单个EAA流量测定值中，Met的流量比较接近，His和Thr的流量高于该报道的值，而其他AA和TAA的流量均低于其报道值。本试验测定的TAA流量明显低于一些报道的数值，这可能与不同的试验条件及测定方法有关，如Hussein等[18]、王洪荣等[19]的试验均采用单一Cr_2O_3作为食糜标记物。

3.4　饲粮不同CP水平对小肠AA吸收率的影响

一些研究发现，随饲粮中血粉替代CGM比例的增加，Val、His和Lys的小肠吸收量增大，而Met、Ile和Leu的吸收量减小。说明改变饲粮RDP：RUP能够影响小肠中一些重要AA的吸收，这有可能与小肠中AA的平衡性得到改善有关。这或许也是生产上阉牛和羔羊在以农作物秸秆为基础饲粮条件下，补饲混合蛋白质饲料的增重速度和饲料转化效率要优于单独补饲尿素或大豆粕的原因。

本试验中，小肠TAA吸收率平均值（79.0%）略低于氮的吸收率平均值，且低于黄现青等[20]的报道值（82%）。Oosting等[17]用体内法测得的饲喂小麦秸与大麦混合饲粮的美利奴羊小肠AA的吸收量为70.1~72.6 g/d，高于饲喂100%小麦秸饲粮的绵羊的吸收量(60.9 g/d)。大麦不仅能够提供丰富的可发酵OM，而且大麦的蛋白质中RDP的比例高达80%。由此可以看出，补饲大麦明显增加了瘤胃MCP的合成量，从而增加了十二指肠AA的供应量。这是因为当农作物秸秆在饲粮中比例较高的情况下，瘤胃内MCP合成效率较低，秸秆自身可能因小肠消化率低所能提供的AA量也不足。

单个AA小肠吸收率比较发现，Glu的小肠吸收率在3种TMR中均最高，而Ile、Cys和脯氨酸（Pro）的吸收率较低，其余大部分AA的吸收率介于黄现青等[20]报道的吸收率范围之内（40.69% ~92.67%）。刘志友等[21]对敖汉细毛羊小肠AA吸收率的测定发现，Cys、Val和Pro的吸收率均较低。本研究测定的AA在绵羊小肠吸收率与NRC公布的数据相近，但His的吸收率平均值（85.7%）明显高于报道值（70%和58%）。

4　结　论

① 提高饲粮CP水平可显著增加羔羊氮进食量、表观消化率和氮沉积，并有增加饲粮DM、OM和NDF表观消化率的趋势，但不影响ADF表观消化率。

② 提高饲粮CP水平虽然对小肠真食糜流量及AA吸收率无显著性影响，但十二指肠氮、TAA流量以及EAA中Arg、His和Lys的吸收率在数值上有所增加。

致谢：

对试验过程中给予帮助和支持的新疆农业大学动物科技学院的李海英、李凤鸣和李昊老师表示诚挚的谢意。

参考文献：

[1] 王永新,莫放,董宽虎,等.肉牛混合日粮不同进食水平对尿中嘌呤衍生物排出量的影响[J].中国农学通报,2008,24(12):11–15.

[2] 杨膺白,梁贤威,郭辉,等.山羊尿中嘌呤衍生物排出规律的研究[J].黑龙江畜牧兽医,2011(1):64–66.

[3] KOZLOSKI G V,NETTO D P,SANCHEZ L M B,et al.Nutritional value of diets based on a low-quality grass hay supplemented or not with urea and levels of cassava meal[J].African Journal of Agricultural Research,2006,1(3):38–46.

[4] GALVANI D B,PIRES C C,KOZLOSKI G V,et al.Protein requirements of Texel crossbred lambs[J].Small Ruminant Research,2009,81(1):55–62.

[5] VAN KESSEL J S,RUSSELL J S.The effect of amino nitrogen on the energetics of ruminal bacteria and its impact on energy spilling[J].Journal of Dairy Science,1996,79(7):1237–1243.

[6] ESCHENLAUER S C P,MCKAIN N,WALKER N D,et al.Ammonia production by ruminal microorganisms and enumeration,isolation,and characterization of bacteria capable of growth on peptides and amino acids from the sheep rumen[J].Applied and Environmental Microbiology,2002,68(10):4925–4931.

[7] VOLDEN H,MYDLAND L T,OLAISEN V.Apparent ruminal degradation and rumen escape of soluble nitrogen fractions in grass and grass silage administered intraruminally to lactating dairy cows[J].Journal of Animal Science,2002,80(10):2704–2716.

[8] UDÉN P,COLUCCI P E,VAN SOEST P J.Investigation of chromium,cerium and cobalt as markers in digesta.Rate of passage studies[J].Journal of the Science of Food and Agriculture,1980,31(7):625–632.

[9] 张乃峰,王中华,李福昌,等.非同位素双标记法测定十二指肠、回肠食糜流量方法的研究[J].畜牧兽医学报,2005,36(3):225–229.

[10] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M].3版.北京:中国农业大学出版社,2010.

[11] VAN SOEST P J,ROBERTSON J B,LEWIS B A.Methods for dietary fiber,neutral detergent fiber,and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition[J].Journal of Dairy Science,1991,74(10):3583–3597.

[12] FAICHNEY G J.The use of markers to partition digestion within the gastro-intestinal tract of ruminants[C]//MCDONALD I W,WARNER A C I.Digestion and metabolism in the ruminant.Armidale:University of New England,1975:277–291.

[13] SAS Institute Inc.SAS/STAT user's guide:version 9.1[M].Cary：SAS Instute Inc.,2003.

[14] HENTZ F,KOZLOSKI G V,ORLANDI T,et al.Intake and digestion by wethers fed a tropical grass-based diet supplemented with increasing levels of canola meal[J].Livestock Science,2012,147(1/2/3):89–95.

[15] 马涛,刁其玉,邓凯东,等.日粮不同精粗比对肉羊氮沉积和尿嘌呤衍生物排出量的影响[J].中国畜牧杂志,2012,48(15):29–33.

[16] 梁贤威,白剑飞,李丽莉,等.不同精粗比日粮对青年母水牛尿中嘌呤衍生物排出规律的影响[J].畜牧与兽医,2008,40(12):6–10.

[17] OOSTING S J,VAN BRUCHEM J,CHEN X B.Intake,digestion and small intestinal protein availability in sheep in relation to ammoniation of wheat straw with or without protein supplementation [J].British Journal of Nutrition,1995,74(3):347–368.

[18] HUSSEIN H S,JORDAN R M,STERN M D.Ruminal protein metabolism and intestinal amino acid utilization as affected by dietary protein and carbohydrate sources in sheep[J].Journal of Animal Science,1991,69(5):2134–2146.

[19] 王洪荣,卢德勋,张海鹰,等.氨基酸在绵羊小肠内消化率的研究[J].内蒙古畜牧科学,1998(2):18–21,33.

[20] 黄现青,雒秋江,陈勇,等.绵羊对不同蛋白水平日粮的消化与吸收[J].草食家畜,2004(3):46–53.

[21] 刘志友,孙海洲,李志明,等.敖汉细毛羊小肠氨基酸流量和消化率的研究[J].饲料工业,2009,30(1):30–33.

Effects of Different Dietary Crude Protein Levels on Amino Acid Flows and Absorbability in Small Intestine of Growing Lambs

NIU Lu　YIN Hua　ZHENG Meng　GAN Mailin　CHEN Aodong　LIU Chenli　CHEN Daofu　GAO Wei*

(*College of Animal Science & Technology*, *Shihezi University*, *Shihezi* 832003, *China*)

Abstract: This experiment was conducted to compare the effects of different dietary crude protein (CP) levels on amino acid (AA) flows and absorbability in small intestine of growing lambs.

Three Kazakh male lambs [(30.0±3.7) kg of body weight] fitted with permanent ruminal, duodenal and ileal fistulas were selected. A 3×3 Latin square design was adopted. Dietary CP levels of different treatments were 11.00%, 12.00% and 13.00%, respectively; the pretest lasted for 10 days, and the test lasted for 10 days. A dual-phase marker system with lithium-chromium ethylenediamine tetra-acetate (LiCr-EDTA) and acetic ytterbium (Yb-Ac) as liquid-phase and particulate-phase digesta flow makers was adopted to measure small intestinal digesta flows, respectively. The results showed as follows: the intake, apparent digestibility and retention of nitrogen were increased with increasing level of dietary CP, and 13% treatment was significantly higher than 11% treatment ($P<0.05$); in addition, there were increasing trends of apparent digestibility of dry matter, organic matter and neutral detergent fiber ($0.05 \le P<0.1$), but no significant effects on apparent digestibility of acidic detergent fiber was found （$P>0.05$）. Although intestinal true digesta flows and amino acid absorbability were not significantly affected by the increasing dietary CP level （$P>0.05$）, but the flows of nitrogen and total amino acids, as well as absorption rates of essential amino acids, such as arginine, hisitidine and lysine, were numerically increased. The results indicate that increasing dietary CP level has the potential to improve digestibility, intestinal digesta flows and amino acid absorption rate.

Key words: rumen-degradable protein; amino acid; flow; absorbability; Kazakh lambs

---

*Corresponding author, associate professor, E-mail :gw@shzu.edu.cn (责任编辑　王智航)